

Analisis Infiltrasi Di Saluran Primer Daerah Irigasi Boro Kabupaten Purworejo, Propinsi Jawa Tengah

Achmad Rafi'ud Darajat¹, Fatchan Nurrochmad², Rachmad Jayadi³

¹Mahasiswa Program Pascasarjana, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

^{2,3}Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta, Indonesia

Abstrak

Saluran Primer Boro merupakan infrastruktur pengairan Daerah Irigasi (DI) Boro yang berfungsi mengalirkan air dari bendung Boro menuju petak sawah. Problematika yang terjadi di DI ini adalah penyaluran air irigasidari hulu tidak bisa optimal sampai ke hilir. Pengamatan dan pengukuran secara langsung di lapangan diperlukan untuk mengetahui besar kehilangan air di saluran akibat laju infiltrasi. Pada penelitian ini, pengukuran laju infiltrasi dilakukan secara langsung di dasar saluran menggunakan *double ring infiltrometer* di tiga lokasi pengukuran yaitu di bagian hulu (SPHu), tengah (SPT), dan hilir (SPHi). Pengolahan data laju infiltrasi menggunakan metode Horton. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laju infiltrasi di SPHi adalah 0,144mm/jam, di SPT adalah 0,177 mm/jam, dan di SPHi adalah 0,335 dengan rata-rata rata-rata laju infiltrasi 0,219 mm/jam atau 5,256 mm/hr. Nilai infiltrasi tersebut dapat dikategorikan dalam infiltrasi yang agak/cukup lambat.

Kata kunci: infiltrasi, *double-ring infiltrometer*, metode Horton

Pendahuluan

Infiltrasi merupakan gerakan air ke bawah melalui permukaan tanah dimulai ketika air jatuh di permukaan tanah, sehingga permukaan tanah atas menjadi basah, sedangkan bagian bawahnya relatif masih kering. Dengan demikian terdapat perbedaan yang besar dari gaya kapiler antara permukaan atas tanah dengan yang ada di bawah permukaan tanah. Perbedaan tersebut menyebabkan gaya kapiler bekerja bersama-sama dengan gaya berat, sehingga terjadi infiltrasi (Arsyad, 2000). Peristiwa infiltrasi tersebut sangat penting diketahui nilainya. Dari nilai tersebut diperoleh data laju infiltrasi. Data laju infiltrasi dapat dimanfaatkan untuk menduga kapan suatu limpasan permukaan (*Surface Run-off*) akan terjadi bila suatu jenis tanah telah menerima sejumlah air tertentu, baik melalui curah hujan ataupun irigasi dari suatu tandon air di permukaan tanah (Noveras, 2002).

Pengukuran infiltrasi dapat dilakukan di saluran irigasi untuk mengetahui besarnya kehilangan air dalam proses penyaluran air irigasi di saluran. Pada penelitian ini dilakukan kajian analisis infiltrasi di Saluran Primer Daerah Irigasi Boro yang terletak di Kabupaten Purworejo, Propinsi Jawa Tengah. Saluran Primer Boro mengairi irigasi di Daerah Irigasi (DI) Boro dengan luas 5126 Ha dengan mengambil *intake* air irigasi dari Sungai Bogowonto. DI Boro memiliki permasalahan kehilangan/*losses* air irigasi yang menyebabkan daerah hilir di DI Boro kekurangan air irigasi. Melihat kondisi DI Boro yang sangat penting, sehingga perlu kajian ilmiah mengenai kehilangan/*losses* air irigasi akibat infiltrasi di Saluran Primer Boro.

Tujuan Penelitian

Berdasarkan penjelasan dan permasalahan diatas maka tujuan dari penelitian ini adalah melakukan kajian mengenai kehilangan/*losses* air irigasi akibat infiltrasi di Saluran Primer Boro dalam memenuhi kebutuhan air irigasi.

Tinjauan Pustaka

1. Infiltrasi

Laju infiltrasi dapat diukur di lapangan dengan mengukur curah hujan, aliran permukaan, dan menduga faktor-faktor lain dari siklus air, atau menghitung laju infiltrasi dengan analisis hidrograf. Cara pengukuran infiltrasi tersebut memerlukan biaya yang relatif mahal, maka penetapan infiltrasi sering dilakukan pada luasan yang sangat kecil dengan menggunakan alat *infiltrrometer*. Ada beberapa macam *infiltrrometer* yang dapat digunakan untuk menetapkan laju infiltrasi, (Clothier, 2001) yaitu:

1. *ring infiltrrometer* (single atau double/concentric-ring *infiltrrometer*),
2. *wells, auger hole permeameter*,
3. *pressure infiltrrometer*,
4. *closed-top permeameter*,
5. *crust test*,
6. *tension and disc infiltrrometer*,
7. *driper*,
8. *rainfall*,

Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah pengukuran menggunakan *double ring infiltrrometer*. Keunggulan dari penggunaan ring infiltrrometer dibandingkan dengan alat lainnya adalah relatif murah, mudah untuk menggunakan dan menganalisis datanya, serta tidak memerlukan keterampilan yang tinggi dari penggunaannya. Kelemahan dari alat ini adalah peluang untuk terjadinya gangguan terhadap tanah relatif tinggi (Clothier, 2001), sehingga untuk mendapatkan hasil pengukuran yang mewakili, diperlukan ulangan pengukuran yang relatif banyak, baik ulangan secara spasial maupun temporal.

Ring infiltrrometer utamanya digunakan untuk menetapkan infiltrasi kumulatif, laju infiltrasi, dan kapasitas infiltrasi. Penggunaan double-ring infiltrrometer (Gambar 1) ditujukan untuk mengurangi pengaruh rembesan lateral. Oleh karena adanya rembesan lateral, sering menyebabkan hasil pengukuran dari alat ini menjadi tidak mudah untuk diekstrapolasikan ke dalam skala lapangan. Infiltrasi (vertikal) ke dalam tanah yang pada mulanya tidak jenuh, terjadi dibawah pengaruh hisapan matriks tanah dan gravitasi. Laju infiltrasi pada awalnya tinggi, dengan masuknya air lebih dalam dan dalamnya profil tanah yang basah, maka hisapan matriks tanah berkurang dan akhirnya hanya tinggal tarikan gravitasi yang berpengaruh terhadap pergerakan air, menyebabkan laju infiltrasi semakin menurun dengan berjalannya waktu mendekati kondisi kesetimbangan (*steady-state*). Kandungan air tanah pada saat mulai terjadinya infiltrasi juga berpengaruh terhadap laju infiltrasi. Oleh karena itu Sharma *et al.* (1980) menyatakan bahwa secara tidak langsung infiltrasi dipengaruhi oleh evapotranspirasi melalui pengaruhnya terhadap kadar air tanah awal.

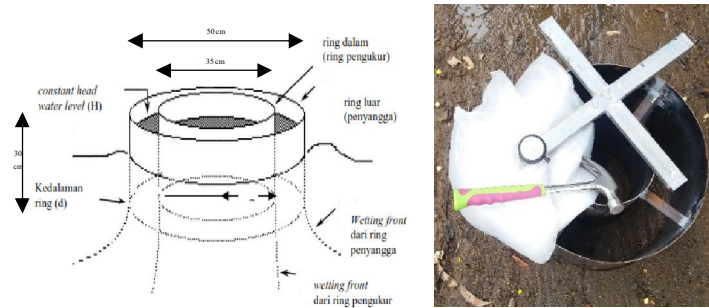
Laju infiltrasi tergantung pada kandungan air dalam tanah. Klasifikasi infiltrasi digunakan untuk mengetahui potensi infiltrasi pada suatu daerah. Pengklasifikasian infiltrasi menurut U.S Soil Conservation yaitu seperti pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Klasifikasi Laju Infiltrasi

Klas	Klasifikasi	Laju Infiltrasi(mm/jam)
0	Sangat Lambat	<1
1	Lambat	1 –5
2	Agak Lambat	5–20
3	Sedang	20–63
4	Agak Cepat	63–127
5	Cepat	127–254
6	Sangat Cepat	>254

2. Pengukuran Laju Infiltrasi

Pengukuran laju infiltrasi dalam penelitian ini menggunakan alat *double-ring infiltrometer*. Alat ini terdiri dari dua buah tabung baja silindris berukuran diameter dalam 35 cm dan diameter luar adalah 50 cm. Panjang ring penyangga adalah 30 cm dengan ketebalan ring 3mm, dan pada bagian bawah dibuat tajam. Kelengkapan alat pendukung pengukuran infiltrasi ini adalah balok penghantar/*elastomer* untuk membenamkan ring, *stopwatch*, dan palu. (Gambar 1).



Gambar 1. *Double-ring infiltrometer*

Laju infiltrasi actual (f_{ac}) adalah laju air berpenetrasi ke permukaan tanah pada setiap waktu dengan gaya-gaya kombinasi gravitasi, viskositas dan kapilaritas. Laju maksimum presipitasi dapat diserap oleh tanah pada kondisi tertentu disebut infiltrasi (Seyhan, 1977). Permukaan tanah mempunyai daya serap yang kemampuannya berbeda dilihat dari kondisi tanah dan lapisan penutup permukaannya. Kapasitas infiltrasi dinotasikan sebagai f . Faktor yang mempengaruhi kapasitas infiltrasi adalah ketinggian lapisan air diatas permukaan tanah, jenis tanah, banyaknya moisture tanah yang sudah ada dalam lapisan tanah, keadaan permukaan tanah, dan penutup tanah.

3. Infiltrasi Metode Horton

Pengujian infiltrasi tanah dilakukan dengan metode Horton. Metode Horton menjelaskan bahwa kapasitas infiltrasi berkurang seiring dengan bertambahnya waktu hingga mendekati nilai yang konstan. Penurunan kapasitas infiltrasi dikontrol oleh factor yang beroperasi di permukaan tanah disbanding dengan proses aliran dalam tanah. Faktor yang berperan untuk pengurangan laju infiltrasi seperti tutupan lahan, penutupan retakan tanah oleh koloid tanah dan pembentukan kerak tanah, penghancuran struktur permukaan lahan dan pengangkatan partikel halus dipermukaan tanah oleh air. Metode Horton secara matematis mengikuti Persamaan (1) berikut ini:

$$f = fc + (f_0 - fc)e^{-kt} \quad (1)$$

dimana:

f = laju infiltrasi (cm/jam)

f_0 = laju infiltrasi awal (cm/jam)

fc = laju infiltrasi akhir (cm/jam)

e = bilangan dasar logaritma Naperian

t = waktu yang dihitung dari mulainya hujan/ pemberian air (jam)

k = konstanta untuk jenis tanah

Apabila laju infiltrasi pada suatu saat adalah $f(t)$, maka infiltrasi kumulatif atau jumlah air terinfiltrasi adalah $F(t)$. Persamaan (2) menunjukkan bahwa jumlah air yang terinfiltrasi $f(t)$

merupakan integral dari laju infiltrasi. Laju infiltrasi merupakan turunan dari infiltrasi kumulatif. Dengan kata lain, dalam Persamaan (3) laju infiltrasi $f(t)$ adalah sama dengan kemiringan kurva $F(t)$ pada waktu (t) dengan satuan mm/jam. Jumlah air yang terinfiltrasi pada suatu periode tergantung pada laju infiltrasi dan fungsi waktu. Persamaan laju infiltrasi Horton tersebut kemudian diintegrasikan seperti Persamaan (2) dan Persamaan (3) berikut.

$$F(t) = \int_0^t fc + (f_0 - fc)e^{-kt} dt \quad (2)$$

$$F(t) = fct + \frac{1}{k}(f_0 - fc)(1 - e^{-kt}) \quad (3)$$

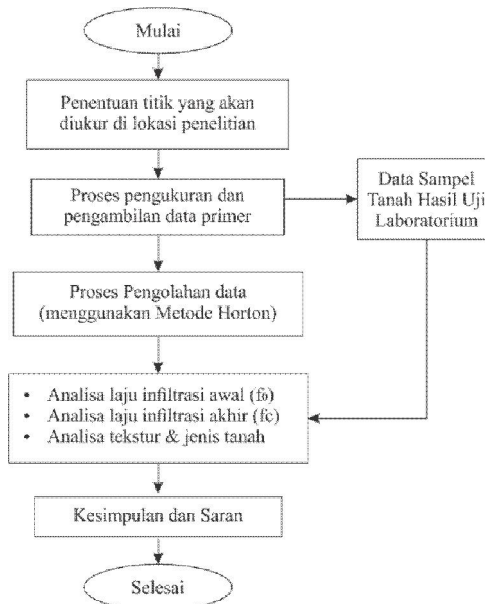
Metodologi Penelitian

Lokasi pengukuran infiltrasi berada di Saluran Primer Boro dengan total panjang saluran adalah 11.800 meter. Pengukuran infiltrasi di saluran primer dipilih tiga lokasi pengukuran di hulu, tengah, dan di hilir saluran. Untuk lokasi pengukuran akan ditabelkan dalam Tabel 2 dengan pemilihan waktu pengukuran saat musim kemarau dan pintu intake di Bendung Boro ditutup untuk sementara.

Tabel 2. Lokasi pengukuran infiltrasi

No	Lokasi Pengamatan	Kode	Koordinat GPS		Keterangan
			Lintang	Bujur	
1	Ds. Boro Kulon, Kec. Banyuurip	SPHu	-7.735	110.006	Sal Primer <i>Lining</i> 2 sisi (<i>Hulu</i>)
2	Ds. Purwodadi, Kec. Purwodadi	SPT	-7.822	109.995	Sal Primer <i>Lining</i> 2 sisi (<i>Tengah</i>)
3	Ds. Sidoharjo, Kec. Purwodadi	SPHi	-7.854	110.014	Sal Primer <i>Lining</i> 2 sisi (<i>Hilir</i>)

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Hasil dan Pembahasan

1. Laju Infiltrasi

Laju infiltrasi sebagai fungsi waktu diberikan dalam Metode Horton

$$f_t = f_c + (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

Selanjutnya dapat ditulis dalam bentuk:

Ruas kanan dan kiri dari persamaan dibuat dalam bentuk log:

$$f_t - f_c = (f_0 - f_c) \cdot e^{-kt}$$

$$\log(f_t - f_c) = \log(f_0 - f_c) - kt \cdot \log e$$

$$\log(f_t - f_c) - \log(f_0 - f_c) = -kt \cdot \log e$$

$$t = -\frac{1}{k \cdot \log e} [\log(f_t - f_c) - \log(f_0 - f_c)]$$

$$t = -\frac{1}{k \cdot \log e} \log(f_t - f_c) + \frac{1}{k \cdot \log e} \log(f_0 - f_c)$$

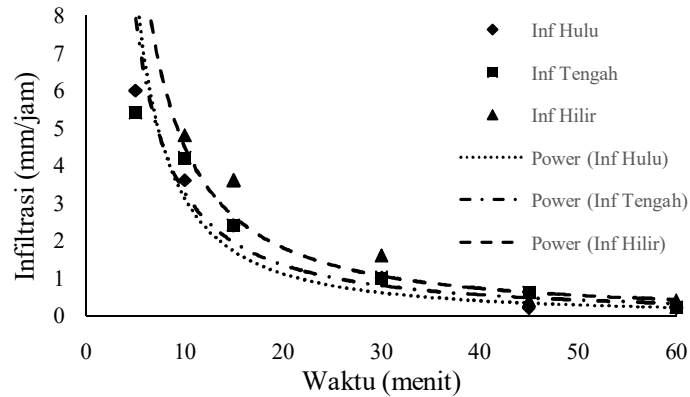
Persamaan tersebut mempunyai bentuk: $y = mx + c$

(4)

Persamaan (4), merupakan garis lurus dengan kemiringan m . Nilai $m = -1 / k \log e$. Mempunyai tanda negatif, yang menunjukkan bahwa f_t berkurang dengan bertambahnya t . Berikut ini akan disajikan data pengukuran infiltrasi di tiga lokasi pengukuran di Saluran Primer Boro pada Tabel 3. Selanjutnya dihitung Δ Infiltrasi atau selisih penurunan tiap beda waktu sebelumnya. Kemudian nilai infiltrasi untuk mengetahui kurva kapasitas infiltrasi (Gambar 3) adalah dengan membagi Δ Infiltrasi dengan beda waktu.

Tabel 3. Hasil Pengukuran Infiltrasi

Lokasi Pengukuran	t (menit)	Beda waktu (jam)	Data (mm)	Penurunan (mm)	Δ Infiltrasi (mm)	Infiltrasi (mm/jam)
SPHu	0	0	1,90	0,00		
	5	0,083	1,40	0,50	0,50	6,0
	10	0,083	1,10	0,80	0,30	3,6
	15	0,083	0,90	1,00	0,20	2,4
	30	0,250	0,65	1,25	0,25	1,0
	45	0,250	0,60	1,30	0,05	0,2
	60	0,250	0,55	1,35	0,05	0,2
SPT	0	0	2,00	0,00		
	5	0,083	1,55	0,45	0,45	5,4
	10	0,083	1,20	0,80	0,35	4,2
	15	0,083	1,00	1,00	0,20	2,4
	30	0,250	0,75	1,25	0,25	1,0
	45	0,250	0,60	1,40	0,15	0,6
	60	0,250	0,55	1,45	0,05	0,2
SPHi	0	0	2,70	0,00		
	5	0,083	2,00	0,70	0,70	8,4
	10	0,083	1,60	1,10	0,40	4,8
	15	0,083	1,30	1,40	0,30	3,6
	30	0,250	0,90	1,80	0,40	1,6
	45	0,250	0,80	1,90	0,10	0,4
	60	0,250	0,70	2,00	0,10	0,4



Gambar 3. Kurva kapasitas inviltrasi

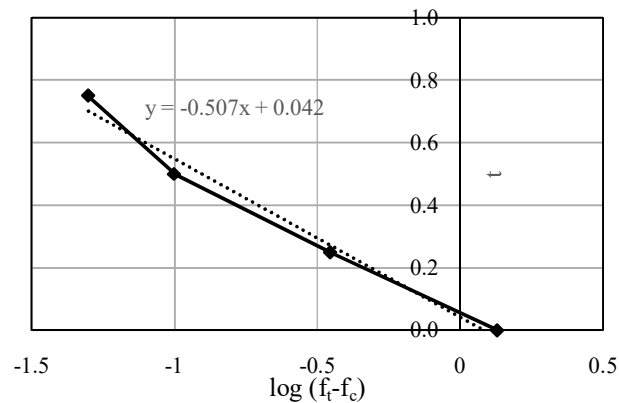
Laju infiltrasi dari Persamaan (1) dan data pengukuran dari Tabel 3 selanjutnya dilakukan perhitungan laju infiltrasi untuk tiap lokasi pengukuran akan disajikan sebagai berikut.

2. Saluran Primer Hulu (SPHu)

Tabel 4. Mencari persamaan infiltrasi Metode Horton

t (jam)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
f_t (cm/jam)	1,90	0,90	0,65	0,60	0,55
f_c	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
$f_t f_c$	1,35	0,35	0,10	0,05	0,00
Log ($f_t f_c$)	0,13	-0,46	-1,00	-1,30	

Hasil hitungan dalam Tabel 4 tersebut dalam hubungan antara t dan $\log (f_t f_c)$ dapat diperoleh kemiringan garismseperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Gradien kemiringan m pada lokasi SPHu

Gradien kemiringan m pada Gambar 4 tersebut adalah -0,507, sehingga nilai k adalah 4,541.

Persamaan infiltrasi pada lokasi SPHu menjadi Persamaan (5).

$$f_t = 0,55 + 1,35e^{-4,541.t} \quad (5)$$

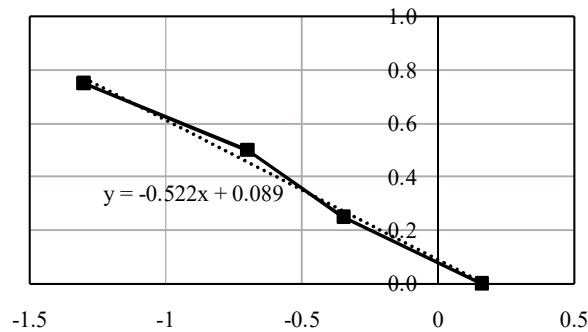
dengan f_i dalam cm/jam dan t dalam jam, kemudian untuk mengetahui volume air yang terinfiltrasi dengan menggunakan Persamaan (5) adalah $Ft = 0,0144 \text{ cm/jam} = 0,144 \text{ mm/jam}$

3. Saluran Primer Tengah (SPT)

Tabel 5. Mencari persamaan infiltrasi Metode Horton

t (jam)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
f_i (cm/jam)	2,00	1,00	0,75	0,60	0,55
f_c	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
$f_i f_c$	1,45	0,45	0,20	0,05	0,00
Log ($f_i f_c$)	0,16	-0,35	-0,70	-1,30	

Hasil hitungan dalam Tabel 5 tersebut dalam hubungan antara t dan $\log (f_i f_c)$ dapat diperoleh kemiringan garis m seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Gradien kemiringan m pada lokasi SPT

Gradien kemiringan m pada Gambar 5 tersebut adalah -0,523, sehingga nilai k adalah 4,406.

Persamaan infiltrasi pada lokasi SPT menjadi Persamaan (6):

$$f_i = 0,55 + 1,45e^{-4,406.t} \quad (6)$$

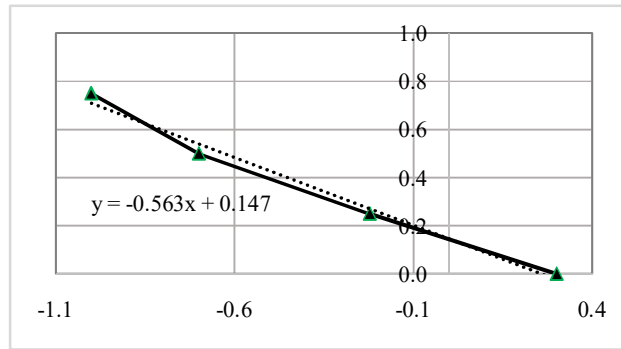
dengan f_i dalam cm/jam dan t dalam jam, kemudian untuk mengetahui volume air yang terinfiltrasi dengan menggunakan Persamaan (6) adalah $Ft = 0,0177 \text{ cm/jam} = 0,177 \text{ mm/jam}$

4. Saluran Primer Hilir (SPHi)

Tabel 6. Mencari persamaan infiltrasi Metode Horton

t (jam)	0,00	0,25	0,50	0,75	1,00
f_i (cm/jam)	2,70	1,30	0,90	0,80	0,70
f_c	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
$f_i f_c$	2,00	0,60	0,20	0,10	0,00
Log ($f_i f_c$)	0,30	-0,22	-0,70	-1,00	

Hasil hitungan dalam Tabel 6 tersebut dalam hubungan antara t dan $\log (f_i f_c)$ dapat diperoleh kemiringan garis m seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Gradien kemiringan m pada lokasi SPT

Gradien kemiringan m pada Gambar 6 tersebut adalah $-0,563$, sehingga nilai k adalah $4,090$.

Persamaan infiltrasi pada lokasi SPHi menjadi Persamaan (7):

$$f_t = 0,70 + 2,00e^{-4,09.t} \quad (7)$$

dengan f_t dalam cm/jam dan t dalam jam, kemudian untuk mengetahui volume air yang terinfiltrasi dengan menggunakan Persamaan (7) adalah $Ft = 0,0335 \text{ cm/jam} = 0,335 \text{ mm/jam}$. Selanjutnya untuk infiltrasi di saluran primer dapat di rekapitulasikan dalam Tabel 7 berikut ini.

Tabel 7 Rekapitulasi Pengukuran Infiltrasi

Saluran	Infiltrasi (mm/jam)			
	Hulu	Tengah	Hilir	Rata-rata
Saluran primer	0,144	0,177	0,335	0,219

5. Analisa Tekstur Tanah

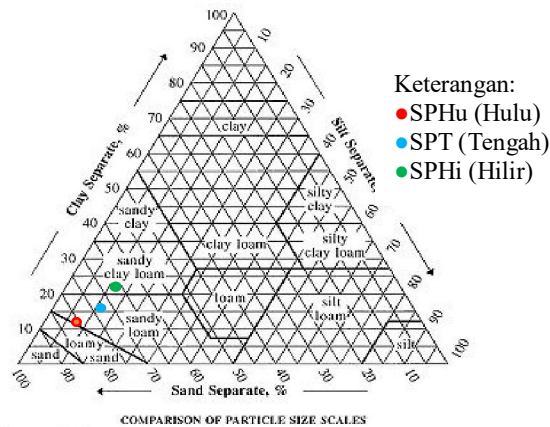
Selain melakukan kegiatan pengukuran infiltrasi di saluran, dilakukan pula pengambilan contoh tanah pada dasar saluran untuk dilakukan pengujian laboratorium. Pengambilan tanah dilakukan tidak bisa sembarangan, harus hati-hati dalam mengambil sampel tanah. Sehingga digunakan alat bantu pipa pralon PVC dengan diameter 1,5 inchi yang dimasukkan kedalam tanah $\frac{3}{4}$ bagian. Kemudian gali perlahan di sekeliling pipa tersebut dan tidak boleh mengenai pipa tersebut, agar didapatkan sampel tanah yang tidak terganggu.

Selanjutnya sampel tanah dilakukan pengujian laboratorium untuk mengetahui jenis tanah yang terdapat di saluran tersebut. Pengambilan sample tanah dan pengukuran infiltrasi harus dilakukan saat musim kemarau agar tidak terpengaruh adanya aliran air irigasi. Berikut ini hasil uji laboratorium tekstur tanah yang ada di saluran primer dalam Tabel 8 berikut.

Tabel 8 Tekstur tanah di saluran primer

Lokasi	% Pasir	% Debu	% Liat	Tekstur Tanah
SPHu	76.56	11	12.44	Lempung Berpasir
SPT	73.35	10.25	16.4	Lempung Berpasir
SPHi	67.5	10.7	21.8	Lempung Liat Berpasir

Tekstur ditentukan dengan melihat perbandingan pasir, debu, dan liat yang terdapat pada tanah. Setelah diketahui persentasenya maka tekstur tanahnya ditentukan menggunakan segitiga USDA (*United State Department of Agriculture*) yang disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Segitiga tekstur tanah

Kesimpulan dan Saran

Dari hasil pengukuran infiltrasi selama periode musim kemarau pada Saluran Primer Boro di Daerah Irigasi (DI) Boro, didapatkan laju infiltrasi rata-rata sebesar 0,219 mm/jam atau 5,256 mm/hr. Berdasarkan hasil uji tekstur tanah dilokasi pengukuran adalah lempung berpasir. Apabila merujuk Tabel 1 besarnya laju infiltrasi pengukuran pada penelitian ini adalah 5,256 mm/hr, maka angka tersebut masuk dalam *range* agak/cukup lambat. Hasil ini sesuai dengan kondisi sebenarnya, bahwa dasar tanah di saluran primer merupakan tanah jenuh air.

Daftar pustaka

- Arsyad, S., 2000. *Pengawetan Tanah dan Air*. Bogor: Departemen Ilmu-Ilmu Tanah. Fakultas Pertanian. Institut Bogor.
- Clothier, B., 2001. *Infiltratio, In Soil and Environmental Analyses*: United States of America. Marcel Dekker
- Noveras, H., 2002. *Dampak Konversi Hutan Menjadi Kebun*, Malang: Jurnal Pertanian. Universitas Brawijaya.
- Reynold, W. D., D. E. Elrick. 2002. *Ponded Infiltration From Single Ring*. Wisconsin. Soil Sccience Society of America.
- Rahmadani, S., 2017. *Pengaruh Metode Pemberian Air pada Tanah Sawah Berbahan Organik Terhadap Produktifitas Air*. Tesis. Yogyakarta: UGM.
- Seyhan, E. F. 1990. *Dasar-Dasar Hidrologi*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Sharma, M. L., G. A. Gander, dan C.G. Hunt., 1980. *Spatial Variability of Infiltration in Watershed*. Amsterdam: Journal of Hydrology. Elsevier Scientific Publishing Company